

自然災害の危険度の予知

—都市における崖崩れを対象にして—

Statistical Prediction of Possibility of Natural Disaster using Photogrammetric Technique

丸 安 隆 和*・嶋 田 厚 二*

Takakazu MARUYASU and Koji SHIMADA

災害が起るたびに、それが天災であるか人災であるかが論議される。飛騨川事故のように、防災工事のぬけていたところで思わぬ災害の起こることは珍らしくない。従来の“経験”や“勘”だけに頼っていた防災計画では、どうしても手ぬかりも起こるし、人智を尽したという言訳もたたなくなる。防災計画をもっと科学的にたてよう。そして限りある予算を最も適切に使うことを考えよう。このようなシステムをつくり出そうとするのが、この研究の目的である。その一つとして都市における崖崩れ災害を対象に、一つ一つの崖について危険度を算出し、防災工事を施すべき順序と最も有効な工事計画と規模とを決定する科学的手段を提案したものである。

1. ま え が き

去る8月18日、岐阜県加茂郡白川町の国道41号線で土砂崩れがあり、観光バス2台が飛騨川に押し流され、104人もの人々の生命が奪われた。この事故には悪い条件がいろいろ重なっていた。この現場には崖崩れに対する防災工事は全くなされておらず、ただ1km離れたところに「落石注意」という標識が立っただけだとう。まずこのような土砂崩れなどは予期していなかったであろう。そして、たまたま豪雨を避けてバスがそこに停っていたのである。

このような事故は確率的にいえばきわめて小さいものであるが、実際に多くの犠牲者が出たのである。こうなると、いつでもそれが不可抗力な自然災害であったのか、計画や工事に手ぬかりがあったために生じた人災であったのかが問題になる。いずれにしても土木技術者は、このような事故が二度と起こらないように、万全の策を講じなければならないことはいうまでもない。しかし現実には予算上の制限等がある、すべての地域に完全で十分な防災工事を施工することは不可能である。

この研究は、これらの観点から、危険と思われる個所を抽出して、その危険度とそれによって引き起こされる被害の程度とを科学的に推定し、防災工事を施すべき個所の順位づけとその工事の規模とを割り出す方法を提案しようというのである。このために、災害に関連のあると思われるできるだけ多くの情報を集め、これを統計的に処理する。そして、現在の科学技術のレベルで考えられる最適な防災計画の立案と工事の規模の決定に寄与しようとするのである。

このようにして決定され施工された防災工事にもかかわらず、予期しなかった原因のために災害が起こったと

しても、それはその時点での技術レベルでは避けることのできなかつた自然災害といいきることはできるのではないだろうか。従来の経験と勘と見込みによって行なわれてきた防災工事とでは、基本的に大きい差があるといつてよい。

特に、都市における災害は、都市への人口集中に伴い、その規模、危険度、被害の程度がますます大きくなってきている。都市地域は、周囲の田園地帯や丘陵地帯に急速に拡がっている。しかし、その急激な膨張によって粗雑な宅地造成や河川敷の市街地化など、安全性を無視したと思われる無理な都市化が進行し、その結果、多くの都市は災害に対してきわめて不安定な状態にあるといえる。神戸、横浜、呉などの崖崩れ、東京の中小河川の氾濫などから見ても、都市という家屋密集地帯における自然災害の引き起こす被害は甚大で、その防災問題は都市における重大問題となっている。

この研究では、このような見地から横浜地区の崖崩れ多発地域の一部を対象にして、災害の起る前と起こった後に撮影した2組の航空写真を利用して、崖崩れに関連すると思われる要因についての情報を抽出し、これに統計的な処理を加え、各地点の崖崩れに対する危険度を合理的に定量化し、崖崩れの防災計画に順位づけを行なうシステムを提案した。

このような研究には航空写真測量はきわめて有効な科学的手段となる。いうまでもなく自然災害においては、地形は最も重要な役割を持つ要因となるが、その情報を得るには航空写真測量はきわめて便利であるばかりでなく、さらに植生、土地利用、土質などの重要な要因も、これから読みとることができるのである。もちろん、研究の過程での情報処理は電子計算機を利用するのであるから、地形要因も数量化することが必要であり、このために Vector Terrain Model の考え方を導入した。これ

* 東京大学生産技術研究所 第5部

は地形の傾斜の大きさ、方向をベクトルで表現するもので、崖の存在の認識、雨水の流下する状況を解析するにはきわめて便利なものである。もちろんこれらの作業は航空写真を用い一連の作業として自動的に行なわれる。

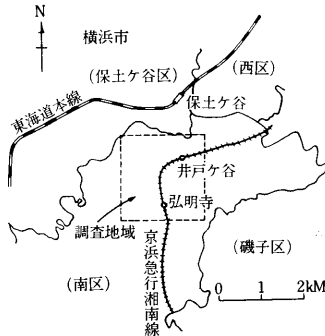


図 1

この研究は、文部省統計数理研究所青山博士の指導を得、清水仁君 (大林組) の努力に負う所が多い。ここに謝意を表す。

2. 研究の方法

(1) 航空写真の諸元

この研究に用いた航空写真は、図 1 に示した調査地域を含むもので、その諸元は次に示すとおりである。

- 撮影 昭和 36 年 5 月 10 日
- 写真縮尺 1/15,000
- カメラ RC 5 a $f=15\text{ cm}$ 画面寸法 23 cm×23 cm
- フィルム ゲバルト 33
- 撮影 昭和 36 年 10 月 29 日
- 写真縮尺 1/25,000
- カメラ RC 5 a $f=15\text{ cm}$ 画面寸法 23 cm×23 cm
- フィルム ゲバルト 33

昭和 36 年 6 月、梅雨前線による大雨のため、この地域に数多くの崖崩れが起こった。昭和 36 年 5 月 10 日撮影の写真は崩壊前の状況を示すもので、崖崩れに影響する諸因子の把握および格子標高の測定のために使用した。昭和 36 年 10 月 29 日撮影の写真は崩壊後の状況を示しており、崩壊地点の判読および崩壊状況の観察に使用した。しかし、この写真は崩壊後 4 カ月近くなってから撮影された写真であるため、崩壊地の多くは復旧されたり、草が茂ったりなどして崩壊地点であることを認識できたのは、昭和 36 年 6 月に調査地域で起こった崖崩れ箇所 22 のうち 11 箇所にとどまり、また崩壊状況の観察は困難であった。そこで、横浜市消防局による崩壊資料に示された地点を補足した。

(2) 研究の方法

地すべりとか洪水といった災害にくらべて崖崩れ災害の研究は、その災害規模が前者にくらべて局地的であるためか、割合その数は少なく、また航空写真の利用もほとんど見られない。もっぱら地形図や現地踏査といったものに頼っているのが現状である。航空写真は撮影され

た時点における地上の状態をありのまま記録しており、しかもこの写真を立体的に観察することにより、従来の現地踏査では不可能である巨視的な調査を撮影時点に戻って可能にすることができる。

この研究では、災害の起こる前に撮影された航空写真を立体観測することにより、各崩壊地の局地的な地形状況を把握するだけでなく、調査地域全域の地形、植生、水理、土地利用等の崖崩れに影響をおよぼす諸因子についても調査を行なった。また災害の起こった後に撮影された航空写真の立体観測により崖崩れ箇所の位置を確認した。このようにして得られたデータに統計的処理を加えて、崖崩れに対する各因子の影響度を調べ、この影響度により各因子に与える点数を求め、これから各地点の崖崩れに対する危険度を定量化して推定した。

(3) 解析の手順

解析は図 2 の流れ図に示す手順によって行なった。この流れ図に示された各作業工程のうち、その主なものについて次に説明する。

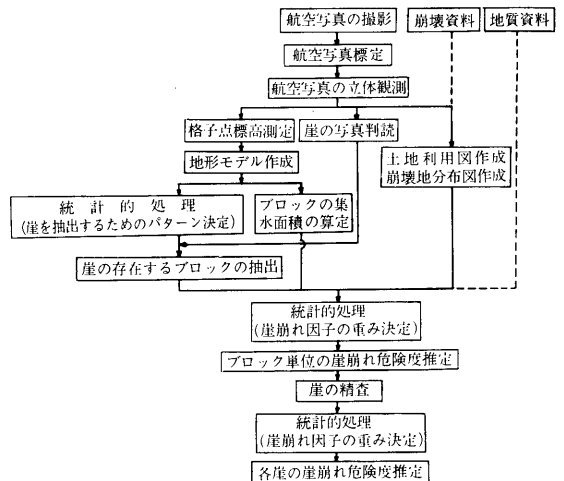


図 2 解析の手順

a) 地形モデルの作成: 地形を数量化して処理するためには、数学的なモデルとして取扱うことが必要である。しかし近似のよい地形モデルを組み立てようとするれば、より多くの点の座標値が必要となってくる。特に都市における丘陵地帯のように、人の手の加わった小規模な崖や勾配の変化の多い地形を地形モデルによって表現することは、非常に困難である。

この研究では比較的粗い間隔の格子を調査区域に組み、各格子点の標高を災害の起こる前に撮影された航空写真を用いて測定し、このデータから地形モデルを組み立てた。すなわち、得られた格子点標高データを用い、格子によって区切られるブロック毎にブロックの四隅の格子点から回帰平面を定め、この回帰平面をそのブロックの斜面の代表値とし、地形モデルは各格子点の標高と

各ブロックの回帰平面により構成されるものとした。この地形モデルから崖崩れに関連のある斜面を把握するために、各ブロック回帰平面の最急勾配の大きさと方向を求め、各ブロックの勾配の大きさを矢印の長さで、またその方向を矢印の向きで示した「ベクトル地形図」を作成した。

この研究では、調査地域全域に対して 50 m 間隔の格子を組み、一部の地域に対しては 25 m 間隔の格子を組み、各々地形モデルを作成し、比較対照した。50 m 格子の地形モデルの場合、小さな尾根や丘陵と平地の境界（丘陵末端線）を十分に表わすことができなかつたので、航空写真から別に稜線、丘陵末端線を入れて補った。図3は 50 m 格子、図4は 25 m 格子の場合の同一地区に対するベクトル地形図である。

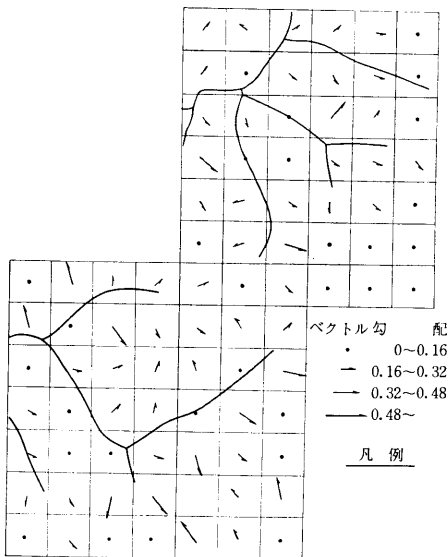


図3 50 M 格子ベクトル地形図

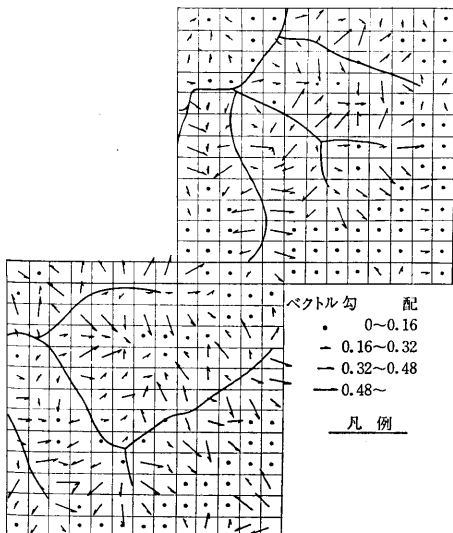
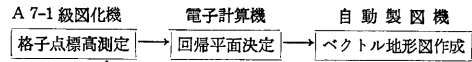


図4 25 M 格子ベクトル地形図

以上のベクトル地形図を作成するための作業は、次に示すように一連のシステムとして、航空写真、電子計算機と自動製図機を利用して自動的に作成した。



b) ベクトル地形図からの崖の抽出：崖崩れの起こる箇所には、図5Aのように斜面勾配が急激に変化する肩を持ついわゆる崖と呼ばれるもの

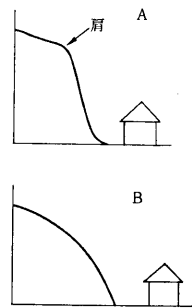


図5

だけではなく、図5Bのように明瞭な肩がなく徐々に傾斜を増し、かなり急勾配となって平野部に接するような急斜面もある。この研究では、人工崖、自然崖を含めて4~5m以上の高さをもつ急斜面すべてを対象とした。図5Aのタイプの崖は航空写真の立体観測によって容易に確認することができるが、自然崖のかなりの部分を占める図5Bのタイプの崖を航空写真から読みとることはなかなか困難であった。

この研究ではベクトル地形図を用いて崖の抽出を試みた。その方法は地形モデルによって表わされた地形的特徴、すなわち斜面ベクトルの大きさとその上下ブロックの斜面ベクトルとの変化の状態と実際の崖の分布との相互関係を統計的処理によって見だし、崖崩れの対象となるブロックを識別しようとした。

c) ブロックの集水面積の算定：崖崩れを引き起こす誘因には降水、地下水の異状変化、地震等が考えられる。このうち多くの場合は、降水が誘因になっていると考えられる。降水による斜面の崩壊機構にはいろいろ考えられるが、どの場合も雨水がどのような経路で移動し、斜面にどの程度の雨水が集まるかということが斜面の崩壊に大きな関連を持っていると考えられる。

一般に斜面上の任意の点の降雨は、表面流あるいは浸透流として、ほぼ最急勾配の方向へ移動する。また斜面の表面流量および浸透流量は、その斜面の集水面積に比例していると考えられる。

この研究では、地形モデルの格子点標高を用いて、各ブロックの集水面積を次のような方式により算定した。

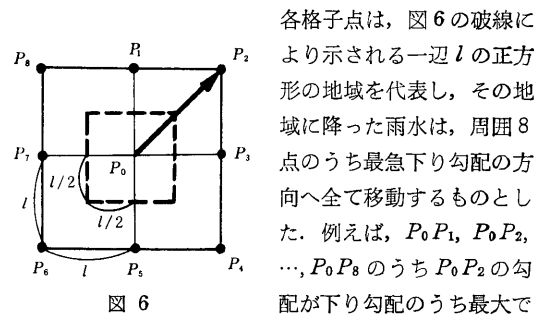


図6

各格子点は、図6の破線により示される一辺 l の正方形の地域を代表し、その地域に降った雨水は、周囲8点のうち最急下り勾配の方向へ全て移動するものとした。例えば、 P_0P_1 , P_0P_2 , ..., P_0P_8 のうち P_0P_2 の勾配が下り勾配のうち最大で

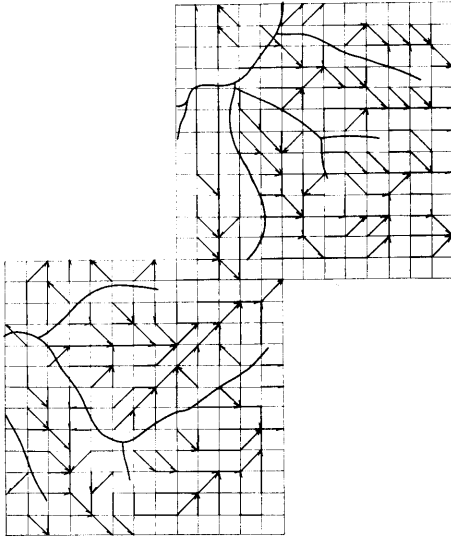


図 7 流線図

あるならば、点 P_0 の地域に降った雨水は全て点 P_2 の地域へ移動すると考えた。図 7 はこの方式による 25 m 格子の場合の「流線図」である。分水嶺となっている稜線付近の格子点から順次水の移動をたどってゆけば、各格子点の集水面積を算定することができる。1 ブロックに属する 4 格子点は、各格子点を中心とする一辺 l の正方形の地域を代表しているのであるから、1 ブロックに対する集水面積は近似的に 4 格子点の集水面積を平均したものと考えられる。以上の作業は電子計算機の利用により簡単に行なうことができる。50 m 格子の場合は格子間隔が大きすぎるために小さな尾根や谷を横切って水が移動するような結果がでたりして、実情と合わないような場合がでることが考えられるため、比較的地形をよく表わしている 25 m 格子の地形モデルについてのみこの方式を適用した。

d) ブロック単位の崖崩れ危険度の推定：崖崩れに関係する斜面が“ある”と判定されたブロックについて、地形、地質、水理、土地利用等の崖崩れに影響をおよぼすと思われる因子を、災害の起こる前に撮影された航空写真の立体観測および地形モデルから把握する。これらの諸因子と崖崩れとの相互関係を統計的処理によりつかみ、各ブロックについての崖崩れに対する危険度を数量的に推定する。

ブロック単位の崖崩れ危険度の推定は、崖崩れの危険性のある地域を指摘すると同時に、能率的に個々の崖の精査を行なうための資料を提供することも目的としている。

e) 個々の崖の崖崩れ危険度の推定：崖崩れの危険度を推定する場合、この研究のこれまでの段階では、ブロック単位に行なってきた。これをより精度をあげ、個々の崖について崖崩れ危険度を推定することが必要である。

そこで、これまでに崖崩れ危険度が大きであると推定されたブロック群から、何ブロックかを無作為に抽出して現地調査を行ない、崖崩れに関する諸因子についての詳細なデータを集め、これと崖崩れとの相互関係を統計的処理により求め、個々の崖についての崖崩れ危険度を数量的に推定する。

(4) 統計的処理法

崖が存在すると思われるブロックの抽出および崖崩れ危険度の推定においては、主観的判断ではなく客観的判断をくだすために、統計的処理を用いて判断の基準を定量化することに努めた。これらの統計的処理法は、何れもある事象を生み出す原因となる種々の因子から、当該事象を予知することを目的としている。すなわち、崖が存在すると思われるブロックの抽出においては、崖が存在する可能性を予知しようとしているのであり、崖崩れ危険度の推定ににおいては、崖崩れの起こる可能性を予知しようとしているのである。

予知しようとしている事象は、各因子と線形的な関係にあるものと仮定し、各因子に対する重みを最もその事象を予知しやすいように定め、数量により判断できるようにする。

因子により作られるデータ行列を X とし、ブロック i のデータ $X_{i,jk}$ は j アイテム、 k カテゴリの因子に反応すれば 1、しからざれば 0 なる値をとるダミー変数とする。

データ行列 X を

$$X = \begin{pmatrix} X_{1,11} & X_{1,12} & \cdots & X_{1,KMk} \\ X_{2,11} & X_{2,12} & \cdots & X_{2,KMk} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{N,11} & X_{N,12} & \cdots & X_{N,KMk} \end{pmatrix} \quad (1)$$

N : 全ブロック数

K : アイテム数

M_1, M_2, \dots, M_k : 各アイテムのカテゴリ数

とする。

\bar{X}_{jk} は j アイテム、 k カテゴリの全ブロックの平均値とし、これにより作られる N 行 K 列の平均値行列 \bar{X}_m を

$$\bar{X}_m = \begin{pmatrix} \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \cdots & \bar{X}_{KMk} \\ \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \cdots & \bar{X}_{KMk} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \cdots & \bar{X}_{KMk} \end{pmatrix} \quad (2)$$

とする。

各因子に対する重みからなる列ベクトルを重みベクトル ω とし、 $Z = X - \bar{X}_m$ なる変換を行なう。

$f = Z\omega$ とおく。この f を合成変量といい、各変量の重みを乗じ加え合せたものである。

今、崖の存在するブロック群と崖の存在しないブロック群とに分け、部分データ行列をそれぞれ Z_1, Z_2 とすると、

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

となる。

合成変量の分布において、崖の存在するブロック群と崖の存在しないブロック群との間の分離を示す相関比

$$\eta^2 = \sum_{p=1}^2 \frac{M_p(m_p - m)^2}{NV} \quad (4)$$

ただし N_p : 第 p 群のブロック数

m_p : 第 p 群における合成変量の平均

m : 全ブロックにおける合成変量の平均

V : 全ブロックにおける合成変量の分散

が最大になるように、重みベクトル ω を定めてやればよい。

つまり、崖の存在するブロック群と崖の存在しないブロック群の合成変量の分布が図 8A のように識別しにくい場合、適切に重みベクトル ω による合成変量 f の値を変えて両ブロック群の分布が図 8B のごとく分離するように、すなわちおのおののブロック群の合成変量の平均値の差が最大になるように、重みベクトル ω の値を定めてやるのである。

この場合、図 8B における斜線を施した部分の面積が小さい程、分離がよく行なわれた（適中率が高い）といえるのである。

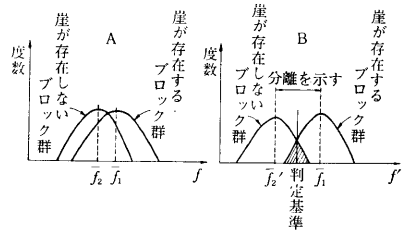


図 8

η^2 を $V=1$ の下で最大にするには、

$$C\omega = \lambda R\omega \quad (5)$$

$$\text{ただし } R = \frac{1}{N} Z'Z, \quad C = \sum_{p=1}^2 \frac{N_p}{N} m_p m_p'$$

$$m_p = \frac{1}{N_p} 1'Z_p, \quad \lambda: \text{定数}$$

を満足するように ω を定めてやればよい。

もとのデータ行列を用いる時には、 j アイテム k カテゴリ、 j' アイテム k' カテゴリに反応するブロック数を $f_{jk}, f_{j'k}$ 、 j アイテム k カテゴリに反応するブロック数を f_{jk} 、また第 p 群で j アイテム k カテゴリに属するブロック数を $f_{p,jk}$ とすると、

$$\begin{pmatrix} f_{11} & 0 & f_{11,21} \cdots f_{11,2M_2} & f_{11,k1} \cdots f_{11,KM_k} \\ f_{12} & \ddots & f_{12,21} \cdots f_{12,2M_2} & f_{12,k1} \cdots f_{12,KM_k} \\ 0 & f_{1M_1} & f_{1M_1,21} \cdots f_{1M_1,2M_2} & f_{1M_1,k1} \cdots f_{1M_1,KM_k} \\ \hline & & f_{21} & 0 \\ & & 0 & \ddots \\ & & & f_{2M_2} \\ \hline & & & f_{k1} & 0 \\ & & & 0 & \ddots \\ & & & & f_{kM_k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_{11} \\ \omega_{12} \\ \vdots \\ \omega_{1M_1} \\ \hline \omega_{21} \\ \vdots \\ \omega_{2M_2} \\ \hline \omega_{k1} \\ \vdots \\ \omega_{kM_k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{1,11}/N_1 - f_{2,11}/N_2 \\ f_{1,12}/N_1 - f_{2,12}/N_2 \\ \vdots \\ f_{1,1M_1}/N_1 - f_{2,1M_1}/N_2 \\ \hline f_{1,21}/N_1 - f_{2,21}/N_2 \\ \vdots \\ f_{1,2M_2}/N_1 - f_{2,2M_2}/N_2 \\ \hline f_{1,k1}/N_1 - f_{2,k1}/N_2 \\ \vdots \\ f_{1,kM_k}/N_1 - f_{2,kM_k}/N_2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$(R_0\omega = a)$

(6) 式なる連立方程式を解けば、求める重みベクトル ω が得られる。

3. 調査および統計的処理の結果

(1) 横浜市の概観

横浜市は、多摩丘陵末端の沈降谷の一つにより作られる港によって発達した港湾都市である。臨海平野では、港湾施設、官公街、商社施設、工業施設、住宅地といったものにより都市化が進み、平野部に土地がなくなると、背後の丘陵地帯へ都市化が進行していった。この丘陵地帯は、多摩丘陵の末端部にあたり、無数に発達した樹枝状の谷は、急峻な傾斜で平野部に臨んでいる。これらの丘陵地帯の宅地造成が進むにつれて、崖崩れの危険性が増大し、近年集中豪雨のたびに、市内各所で無数の崖崩れが発生している。昭和 33 年 9 月には台風 22

号の影響で、2 日間に、321.2 mm の降雨があり、そのために 1029 箇所て崖崩れが発生し、昭和 36 年 6 月の梅雨前線による集中豪雨では、6 日間にわたる 331.4 mm の降雨により、443 箇所て崖崩れが発生している。また昭和 41 年 6 月の台風 4 号では、2 日間にわたる 268.0 mm の降雨により 737 箇所ての大小の崖崩れが市内の各所で発生し、大きな人的、物的損害を与えた。

地質的に見ると、これらの丘陵地帯は三浦層群と呼ばれる第三紀層を基盤とし、上層に関東ローム層、その中間に下末吉層、屏風ヶ浦層などの砂礫層があり、いずれも透水性の大きい層で構成されている。図 9 は保土ヶ谷付近の地質構造を示したもので、①～④は地図上の地点①～地点④の地質調査結果を示したものである。⑤は山王台付近の丘陵地帯の調査結果により総合的に地質構造を示したものである。

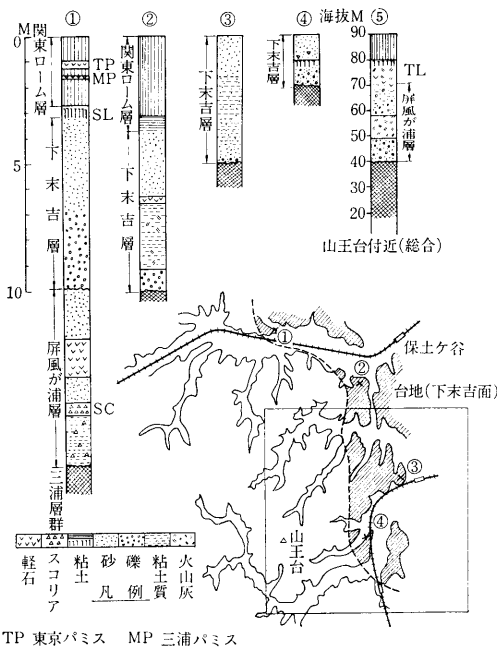


図 9 地質構造

台地部分は下末吉層が上層にあり、この地域の崩壊は三浦層群を不透水層として、含水比の大きな下末吉層がすべる場合が多く、丘陵部では関東ローム層あるいは屏風ヶ浦層の砂礫部分など、いずれの部分からでも崩壊する可能性がある。横浜市での崩壊は、表層の風化した部分 1~2m だけでなく、数メートルの深さにおよぶものも多い。

この研究で対象とした地域は、横浜市南区の約 2 km 四方の丘陵地帯で、急峻な谷筋にまで、相当都市化が進行している。サンプル地域では、昭和 36 年には 22 箇所、昭和 41 年には 38 箇所の崖崩れが発生している。地質構造は、図 9 の山王台付近の地質構造で代表され、地質的な面からは、崖崩れの危険性に対して同一な条件下にあるといえる。

(2) 崖の存在するブロックの抽出

この研究では、斜面の平地部へ見込んでいた部分が数メートル以上の高さになり急傾斜をなしているものを崖と定義した。

崖と定義したものは、大別すると次の三つに分類することができる。

i) 肩を持つもの：斜面の途中で傾斜が急激に変化する部分があり、そこから急角度で平地部へ見込んでいるもので、一般に崖と呼ばれているもの。

ii) 肩を持たないもの：斜面の傾斜が徐々に変化し、明瞭な肩がないもの。しかし斜面の下の方では相当急傾斜となっており、崩壊に対して不安定な形状をなしているもの。この種のもの、どこからどこまでが崖であると指摘するのは困難であることが多い。

iii) 宅地造成地の小規模な人工崖：人工崖であっても、大規模な切土部分などでは、i) の状態になっているものが多い。宅地造成地では、斜面を切土あるいは盛土して、高さ数メートル内外の法面を作っている場合が多く、粗雑な造成地では、この部分の崩壊がよく発生する。

この研究では、崖の写真判読に縮尺 1/15,000 という小縮尺の写真を使用したため、小規模な崖や不安定な斜面を抽出することは非常に困難であった。特に、ii) に分類される急斜面は、この地域の急峻な沈降谷には、ありふれた地形であり、樹木が斜面に茂っている場合、微妙な地形上の特徴から不安定な斜面を抽出することは、なおさら困難であった。そこで、ここでは小縮尺の写真でも比較的確認が容易であると思われる肩の存在を、崖の判読基準とした。すなわち、i) に分類される崖についてのみ写真で判読した。

残りの崖を抽出するには、地形モデルを用いることとし、地形モデルに示された地形的特徴と実際の崖の分布状況との相互関係により、崖の存在に関する地形パターンを決定し、崖の存在する可能性が大であるブロックを抽出することとした。

実際に崖の存在すると思われるブロックを抽出するには、以上 2 つの方法を併用して行なった。すなわち地形モデルにより地形パターンを求め、崖が存在するブロック群と崖が存在しないブロック群とを分離する。さらに崖が存在しないと判定されたブロック群でも、写真から崖が判読されたブロックは、崖が存在するブロック群に移すことにより修正を行なった。

a) 地形モデルから崖を抽出するための因子：この研究では、25 m 格子地形モデルと 50 m 格子地形モデルを使用した。この論文における説明は以下 50 m 格子地形モデルの場合についてのみ行なうことにする。

地形的特徴を示す因子として、〔I〕勾配、〔II〕地形構造、〔III〕稜線、〔IV〕丘陵末端線の四つのアイテムを用いた。50 m 格子地形モデルは、格子間隔が大きいため、地形を平均化するという回帰平面の欠点が強くなり、小さな尾根や谷は格子の中に含まれてしまい、谷あるいは尾根が全く表現されない場合が起こる。したがって、〔I〕、〔II〕の因子だけで地形を表現するのは不十分と考えられるため、補助因子として航空写真より判読した因子〔III〕、〔IV〕を付け加えた。

各因子を次のようなカテゴリに分類した。

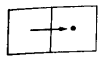
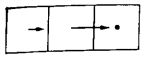
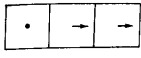
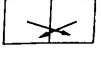
- 〔I〕 勾配 (1) 勾配 0.48 以上のもの
- (2) 勾配 0.32 以上 0.48 未満のもの
- (3) 勾配 0.16 以上 0.32 未満のもの
- (4) 勾配 0.16 未満のもの

注) 勾配は何れも正接の値で表わすものとする。

〔II〕 地形構造 多種に分類したが、それを次の五つのカテゴリにまとめた。

表 1

得点	第一群 (崖のあるブ ロック群)			第二群 (崖のないブ ロック群)		
	個数	確率分布	累積確率	個数	確率分布	累積確率
-10~-15	7	2.4%	100.0%	47	6.4%	
-5~-10	37	12.5	97.6	310	42.3	48.7%
0~-5	20	6.9	85.1	94	12.8	61.5
0~2.5	29	10.0	78.2	65	8.9	70.4
2.5~5.0	45	15.5	68.2	62	8.5	78.9
5.0~10.0	61	21.0	52.7	89	12.2	91.1
10~15	70	24.1	31.7	45	6.2	97.3
15~20	20	6.9	7.6	18	2.5	99.3
20~25	2	0.7		2	0.2	100.0
計	291	100.0		732	100.0	

- (1)  ブロックの勾配が 0.16 以上で下方には勾配 0.16 未満のブロックが接続している場合。丘陵末端を示す。
- (2)  (1) の条件に加えて、さらに上方にも緩い勾配のブロックが接続しており、見掛上肩を形成している場合。
- (3)  上方のブロックの勾配が 0.16 未満で、下方には同じまたはより急な勾配のブロックが接続している場合。
- (4)  谷の側斜面を示す場合。
- (5) (1)~(4) のカテゴリの何れにも属さない場合。

- 〔Ⅲ〕 稜線 (1) ブロックに稜線のある場合。
(2) ブロックに稜線のない場合。

〔Ⅳ〕 丘陵末端線

- (1) ブロックに丘陵末端線のある場合。
(2) ブロックに丘陵末端線のない場合。

b) 崖の存在するブロックの抽出: この研究では、50 m 格子地形モデルを約 2 km 四方の地域にわたって組み立てたが、この地域の約 40% を占める平地部を除外した 1024 ブロックから成る丘陵部を対象とした。

3-(2)-a) で述べた各因子各カテゴリについて 1024 ブロックを分類集計して、 $R_0\omega = a$ なる連立方程式を解くと、重みベクトル ω は (7) 式ようになる。

この重みベクトルから、各ブロックの得点を集計する。第一群 (崖が存在するブロック群)、第二群 (崖が存在しないブロック群) に分類し、得点別にまとめたものが表 1 であり、これを確率グラフで示したものがグラフ 1

$$\begin{pmatrix} \omega_{11} \\ \omega_{12} \\ \omega_{13} \\ \omega_{14} \\ \omega_{21} \\ \omega_{22} \\ \omega_{23} \\ \omega_{24} \\ \omega_{25} \\ \omega_{31} \\ \omega_{32} \\ \omega_{41} \\ \omega_{42} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -10.7 \\ -6.7 \\ -4.4 \\ -12.3 \\ 7.4 \\ 14.3 \\ 4.8 \\ 0.9 \\ 0 \\ 0 \\ 4.2 \\ 8.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

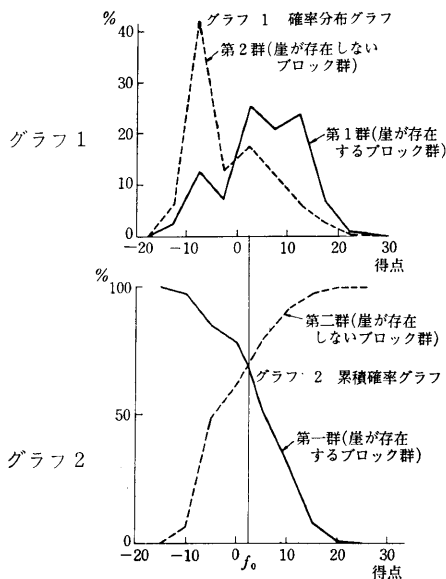
である。

次に崖が存在するブロックか存在しないブロックかを判定するための得点基準を定める。グラフ 2 に示すように、第一群は高い得点からの、第二群は低い得点からの累積確率分布を求め、両群の累積確率分布の交点付近に、両群の適中率がバラン

スするように、判定基準 f_0 を定めた。この場合は、判定基準 f_0 を 2.5 とし、ブロックの得点が 2.5 より大であれば第一群、すなわち崖が存在するブロック群に、2.5 より小であれば第二群、すなわち崖が存在しないブロック群に属すると判定する。判定の適中率は、第一群 68%、第二群 71%、全体では 70% となった。

実際には崖が存在するのに、第二群に属すると判定された 138 ブロック中、写真により崖が存在すると判読されたブロックが 39 個含まれており、これらを第一群に移すと、適中率は第一群について 81%、全体では 71% となる。

c) 崖の抽出についての考察: 崖の存在に影響する程度を示す重みベクトル ω についてみると、勾配については、カテゴリ [I]-(1) の -10.7 を除いて、ほぼ勾配の大きなブロック程、崖の存在に対して影響度が強いことを示している。カテゴリ [I]-(1) は勾配が一番大きいにもかかわらず、崖の存在に対する影響度が低いのは、カテゴリ [I]-(1) に含まれるブロックに、たまたま崖が少なかったためと推定される。またカテゴリに含まれるサンプルのサイズが著しく小さい時、そのカテゴリに対する重みが小さくなることもあり、この影響も考えられる。地形構造についてみると、丘陵末端部の斜面を示すカテゴリ [II]-(1)、見掛上肩を形成していることを示すカテゴリ [II]-(2) の重みが大となっており、ベクトル地形図により崖がうまく表わされていることを示している。



カテゴリの重みの較差により、各因子の崖の存在に対する影響度をみると、最も大きなものは地形構造因子と考えられるが、これは妥当な結果といえる。

(3) ブロック単位の崖崩れ危険度の推定

地形モデルによって把握した地形因子および航空写真から判読した諸因子と崖崩れとの相互関係を統計的処理を用いて明らかにし、ブロック単位の崖崩れ危険度の推定を行なった。

この際、崩壊地点の資料が必要となるが、この研究では崖崩れが発生してから約4ヶ月後に撮影された1/25,000の小縮尺写真を用いたため、崩壊地点を十分にチェックすることができず、補助手段として横浜市消防局が昭和36年および昭和41年の崖崩れ災害について作成した崩壊箇所、崩壊時刻、被害程度などの項目についての記録を使用した。

a) ブロック単位の崖崩れ危険度を推定するための因子：次のような因子について各々カテゴリを定め解析を進めた。

〔I〕勾配、〔II〕地形構造、〔III〕稜線、〔IV〕丘陵末端線の〔I〕～〔IV〕の地形因子に対しては、3-(2)の崖の存在するブロックの抽出において定めたものと同様のカテゴリとする。

〔V〕 土地利用

カテゴリは次の五つとし、二種以上の土地利用が認められる場合には、面積の広いものをとった。

- (1) 市街地 (2) 造成地 (3) 田畑 (4) 丘陵(樹木) (5) 丘陵(草地)

〔VI〕 斜面上方に隣接したブロックの土地利用

斜面の水利条件などは、上方の土地利用の影響を受けていると考えられる。カテゴリは〔V〕と同様であるが、(6) 稜線に近く上方にブロックがない場合を加えた。

〔VII〕 斜面方向

雨滴は重力と空気の粘性抵抗のバランスした一定速度で鉛直に落下するが、風のある時には水平方向の速度が合成され、左図のベクトルで示した方向に移動すると考えられる。この様な風向の影響を表わす因子として、回帰平面の最急勾配の方向を取り上げ次の四つのカテゴリに分類した。

- (1) N~E (2) E~S (3) S~W (4) W~N

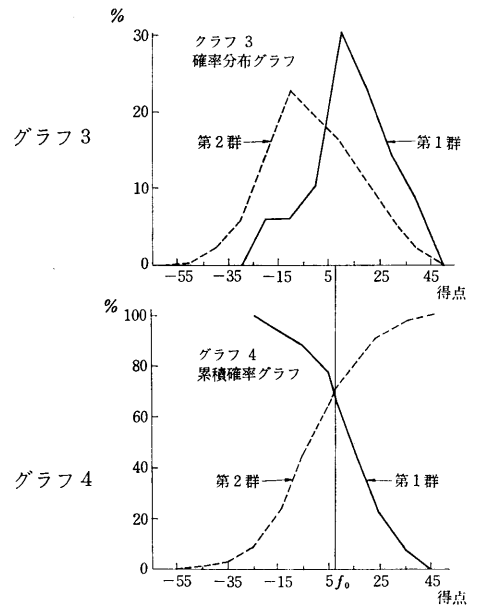
〔VIII〕 集水面積

地形モデルによって算定したブロック集水面積を次の五つのカテゴリに分類した。

- (1) 18.75 a 未満 (2) 18.75 a 以上 37.50 a 未満
- (3) 37.50 a 以上 62.50 a 未満
- (4) 62.50 a 以上 93.75 a 未満 (5) 93.75 a 以上

表 2

得点	第一群(崩壊)			第二群(非崩壊)		
	個数	確率分布	累積確率	個数	確率分布	累積確率
-45~-55				1	0.2%	
-35~-45				10	2.4	2.6%
-25~-35				23	5.6	8.2
-15~-25	3	6.1%	99.9%	57	14.0	22.2
-5~-15	3	6.1	93.8	93	22.7	44.9
-5~5	5	10.2	87.7	79	19.3	64.2
5~7.5	4	8.2	77.6	27	6.6	70.8
7.5~15	11	22.4	69.4	39	9.6	80.4
15~25	12	24.5	47.0	46	11.2	91.6
25~35	7	14.3	22.5	25	6.1	97.7
35~45	4	8.2		9	2.2	99.9
計	49	99.9		409	99.9	



なお、地質条件については、3-(1)で述べたように崖崩れに対しては、ほぼ同一条件下にあると考えられるので、ここでは地質条件を省略した。

表 3

ω_{11}	-64.5	ω_{51}	19.7
ω_{12}	-39.4	ω_{52}	0
ω_{13}	-38.9	ω_{53}	-4.8
ω_{14}	-68.5	ω_{54}	6.9
ω_{21}	14.0	ω_{55}	-5.2
ω_{22}	17.8	ω_{61}	-19.5
ω_{23}	0	ω_{62}	0
ω_{24}	19.7	ω_{63}	-16.0
ω_{25}	25.4	ω_{64}	4.5
ω_{31}	0	ω_{65}	-9.5
ω_{32}	4.9	ω_{66}	-2.8
ω_{41}	16.9	ω_{71}	0
ω_{42}	0	ω_{72}	21.9
		ω_{73}	6.8
		ω_{74}	11.1

b) ブロック単位の崖崩れ危険度の推定：すでに3-(3)-(a)で述べた各因子各カテゴリについて分類集計して、 $R_0\omega = \alpha$ なる連立方程式を解くと重みベクトル ω は表3のようになる。なお、分類集計に当って同一ブロック内で多数回崩壊が起っている場合は、そのブロックを重複して数えることにした。

この重みベクトルから各ブロックの得点を集計する。第一群

(崖崩れが起ったブロック群)、第二群(崖崩れが起こらなかつたブロック群)に分類して、得点別にまとめたものが表 2 であり、これを確率グラフで示したものがグラフ 3 である。この確率グラフから、崖の存在するブロックを抽出する際と同様な手続きにより、累積確率グラフ(グラフ 4)を作り、崖崩れ危険度の推定を行なう。判定基準 f_0 を 7.5 と定めると、判定の適中率は全体で 71% となった。

c) ブロック単位の崖崩れ危険度推定についての考察: 重みベクトル w についてみると、勾配の因子に関しては、崖が存在するブロックの抽出の際と同様な傾向を示している。地形構造、稜線、丘陵末端線の因子については、何れも丘陵末端部および谷における崖崩れ危険度が大きくなっており、妥当な結果である。地形構造因子のカテゴリ [II]-(5) (分類に該当しないもの) の重みが大きくなっているが、これに属するブロックは勾配因子のカテゴリ [I]-(4) (勾配が 0.16 未満のもの) との相関が強く、矛盾した判定にはならない。

土地利用因子について各カテゴリの重みを比較すると、市街地化されているブロックの重みが大きであり、隣接する斜面上方ブロックに樹木のある丘陵地および造成地をもつブロックの重みが大きである。つまり造成地自体より、むしろその隣接地区が宅地造成の影響を受けて、不安定になっているものと考えられる。横浜地区についていえば、長年にわたり漸次市街地化されてきた地域に、急峻な丘陵が迫っている場合、崖崩れの危険度が大きであるといえる。

一方、植生因子では、丘陵地に草のある場合よりも、樹木のある場合の方が、重みが大きくなっている。横浜地区のように、かなり深い層から崩壊を起こすことが多い場合は、崖崩れに植生があまり関係してこないことも予想できる。

斜面方向因子では、E~S 方向の重みが著しく大きくなっている。これは、たまたま風向が E~S であったことが大きく影響したものと思われるが、横浜のような地域では、特に海からの風の影響が大きいことは、十分予想できる。

各因子の崖崩れ危険度に対する影響度を調べると、最も大きなものは斜面勾配因子であり、以下土地利用、地形構造、隣接斜面上方ブロックの土地利用、斜面方向、丘陵末端線、稜線の因子の順となっている。ここで、土地利用因子が崖崩れ危険度に大きな影響を与えていることは、注目に値する。

判定の適中率は 71% にとどまったが、これは崖崩れ危険度に影響する因子に、排水条件、防災工条件等が入れられなかったことが考えられる。特に高い崖などには、擁壁が築かれている場合が多く、そのために危険度が低くなっていることが考えられる。今後、大縮尺写真、カラー写真、赤外線写真等の利用により、崖崩れ危険度に影響する因子をより詳細につかむことができるようになれば、もっと適中率は向上すると思われる。

この研究では、図 2 の流れ図に示されるブロック単位の崖崩れ危険度の推定までを行なったが、さらに現地踏査によって、土質や排水施設、擁壁等の局地的な防災施設の有無を調査し、これをデータ処理の段階で考慮することにより、適中率は一層よくなり、またそれらの防災工の効果も推定できるはずである。

(1968 年 11 月 16 日受理)

参 考 文 献

- 1) 芝 祐順: 行動科学における相関分析法, 東大出版会, 昭和 42 年 11 月
- 2) 青山博次郎: ダミー変数と数量化法への影響, 統計数理研究所, 昭和 40 年 4 月
- 3) 青山博次郎: 市場調査のための数量化の理論と実際, 工業統計講座 (7), 統計数理研究所, 昭和 37 年
- 4) 丸安隆和: 写真判読による地入り崩壊の統計的研究, 土木学会論文集 116 号, 土木学会, 昭和 40 年 4 月
- 5) 小貫義男: 土地地質, 森北出版, 昭和 32 年 1 月
- 6) 三木五三郎: 地盤調査の実務, オーム社, 昭和 42 年
- 7) 稲見悦治: 都市災害論序説, 古今書院, 昭和 41 年 5 月
- 8) 小出 博: 山崩れ [応用地質 II], 古今書院, 昭和 30 年 8 月
- 9) 大滝俊夫: 横浜市内のがけくずれの予報, 研究時報 14 (7), 昭和 36 年 11 月
- 10) 大滝俊夫: 降雨によるがけくずれの水文学的研究, 研究時報 17(6), 昭和 40 年 7 月
- 11) 田中 茂: 神戸市背山地域の崩壊箇所の予想について 建設工学研究所, 昭和 37 年 5 月
- 12) 横浜市役所: 横浜市地域防災計画